

**DES PHÉNOMÈNES ET DES HOMMES :  
TOUT DROIT LA LUMIÈRE**

# **MIROIR, BIEN POLI, BIEN RÉFLÉCHI**

**Conception: Roland Cros et Jacques-Olivier Baruch**

**Réalisation: Jean-Baptiste Lévêque**

**© CNDP, La Cinquième, 1998**

**Durée totale: 10 min 01 s**

Cette séquence est construite autour de l'histoire du télescope spatial Hubble, mis sur orbite à environ 600 km d'altitude en 1990. Pourquoi les premières images provenant de Hubble étaient-elles floues? À cause de son miroir, plus précisément d'une erreur commise dans son polissage et créant une aberration de sphéricité. Le film nous dévoile les énormes dispositifs utilisés dans le polissage des miroirs des grands télescopes, ainsi que les systèmes de contrôle, basés sur le phénomène de réflexion de la lumière.

## **DISCIPLINES, CLASSES ET PROGRAMMES**

- Physique-chimie, 4<sup>e</sup> (programme publié au BO n° 5, 25 août 2005) : *La lumière*.
- Physique-chimie, 3<sup>e</sup> : *Lumière et images*.

## **OBJECTIFS DU FILM**

- Montrer que des miroirs de forme appropriée (parabolique) ont, tout comme les lentilles, un foyer ; qu'il faut que la forme et le polissage soient parfaits pour que toute la lumière reçue dans le télescope soit effectivement concentrée au foyer.
- Montrer le dispositif de polissage des miroirs de télescope.

## **VOCABULAIRE REQUIS**

Miroir, réflexion, lentille, foyer, concentration de l'énergie, image.

## **VOCABULAIRE À EXPLIQUER**

Télescope, télescope spatial, Hubble, nanomètre, pupille, oculaire.

## **PRINCIPAUX THÈMES ABORDÉS**

- Le principe du télescope : faire rentrer le plus possible de lumière (grâce à sa grande ouverture) ; concentrer toute cette lumière en un point aussi petit que possible (grâce au miroir primaire) ; observer l'image de l'astre ainsi formée (grâce au miroir secondaire et à l'oculaire).
- Le trajet de la lumière à travers un télescope, à travers une lunette astronomique.
- Le polissage d'un miroir de télescope.

## DÉCOUPAGE DU FILM

**00 min 00 s :** Journal de France 2. Un télescope aveugle : les Américains découvrent que leur télescope révolutionnaire Hubble ne renvoie que des images floues à la suite d'un défaut du miroir.

**01 min 12 s :** Déception des scientifiques et des amateurs. Les ingénieurs français tirent les conséquences de cet échec.

**01 min 37 s :** Visite de la société REOSC, fabriquant de gigantesques miroirs. Un de ces miroirs sera placé sur le VLT (*Very Large Telescope*). Situé dans le désert au Chili, ce télescope est le plus grand jamais construit.

**02 min 58 s :** Étude du trajet de la lumière dans l'observation des étoiles : trajet de la lumière, des étoiles à notre œil. Trajet de la lumière à travers une lunette astronomique.

**03 min 34 s :** Trajet de la lumière à travers un télescope. Celui-ci agit comme un « entonnoir » à lumière. Il la capte et la concentre. Un oculaire permet ensuite le grossissement de l'image.

**04 min 20 s :** Fabrication des miroirs : la taille gigantesque des miroirs et la très grande précision du polissage (de l'ordre du nanomètre) demandent huit mois de travail.

**06 min 32 s :** Polissage et tests de contrôle des propriétés optiques des miroirs.

**07 min 39 s :** La défaillance de Hubble a été analysée : une pièce maîtresse dans l'appareil de contrôle du miroir était défectueuse, « erreur parfaite ». C'est pourquoi la société REOSC utilise plusieurs tests de contrôle.

**09 min 07 s :** Réparation dans l'espace : toutes les télévisions diffusent les images des astronautes américains qui réussissent avec succès à corriger le miroir d'Hubble.

# SUGGESTIONS D'EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

On peut présenter aux élèves cette séquence vidéo comme un prolongement de l'étude des lentilles convergentes : comme celles-ci, les miroirs paraboliques concentrent l'énergie lumineuse en leur foyer, encore faut-il que la forme et le polissage du miroir soient parfaits.

## À propos des télescopes (information à l'intention des professeurs)

### *Importance de l'ouverture*

Le diamètre de la pupille humaine se dilate au maximum, en moyenne, à 6 mm pour un œil jeune ; un petit télescope de 90 mm d'ouverture par exemple (du genre de ceux que l'on peut acquérir pour le collègue), laisse entrer  $(90/6)^2$ , soit 225 fois plus de lumière que la pupille humaine. L'ouverture d'un télescope est donc une caractéristique primordiale. Hubble, par exemple, a une ouverture de 2,4 m de diamètre, et les plus grands télescopes terrestres ont une ouverture de 10 m. Bien évidemment, le miroir doit avoir le même diamètre que l'ouverture, et le prix du miroir augmente considérablement avec sa taille ! Aujourd'hui, on compose des miroirs segmentés moins onéreux à fabriquer.

### *Importance du miroir*

- Le miroir, contrairement à la lentille, ne présente pas d'aberrations chromatiques : c'est ce qui fait l'intérêt du télescope par rapport à la lunette astronomique. Dans la plupart des télescopes, le miroir est parabolique (dans le télescope de Schmidt, cependant, il est sphérique, ce qui nécessite une « lentille correctrice » appelée la lame de Schmidt) ; l'image formée au foyer est renvoyée par un miroir secondaire (plan, convexe ou concave suivant le type de télescope).
- Si l'on suppose négligeables les aberrations de sphéricité, le pouvoir séparateur du télescope (son aptitude à séparer deux détails rapprochés de l'objet) est limité par la diffraction, dont la valeur dépend du diamètre du miroir primaire. Plus le miroir est grand, plus le pouvoir séparateur est élevé : la limite de résolution angulaire  $\alpha$  vaut en effet, pour un objet à l'infini,  $\alpha = 12/d$  ( $\alpha$  en secondes d'arc et  $d$  diamètre du miroir en cm) ; avec un télescope de 90 mm, on a donc  $\alpha = 1,3$  seconde d'arc. L'œil nu a une limite de résolution,

due à l'écartement des cônes sur la rétine, de 1,3 minute d'arc dans des conditions optimales (objet bien éclairé et bien contrasté).

### **Importance de l'oculaire**

- L'oculaire, qui en théorie pourrait être une simple lentille fortement convergente jouant le rôle de loupe, est en réalité constitué d'un ensemble de plusieurs lentilles, afin d'éviter l'aberration chromatique. Il est caractérisé par sa distance focale exprimée en mm (gravée dessus). Le grossissement du télescope est égal au quotient de la distance focale du miroir primaire par celle de l'oculaire (exprimées avec la même unité). Notons au passage qu'un télescope « 114/900 », par exemple, signifie que le diamètre du miroir primaire vaut  $d = 114$  mm et que sa distance focale vaut  $f = 900$  mm.
- Pour une ouverture donnée du télescope, plus le grossissement est élevé, plus on voit gros (cela va de soi !), mais à quoi cela sert-il de voir gros si c'est pour voir flou ? L'oculaire doit donc fournir un grossissement cohérent avec le pouvoir séparateur qui dépend du diamètre du miroir primaire. En outre, plus le grossissement est élevé, plus le champ est petit, et plus la luminosité est faible.
- Par expérience, un oculaire conduisant au grossissement  $0,4 \times d$  ( $d =$  diamètre d'ouverture du télescope en mm) permet d'observer confortablement les objets faibles et diffus (nébuleuses, amas) ; un oculaire offrant le grossissement  $1,2 \times d$  permet de percevoir les détails des planètes ; un oculaire donnant le grossissement  $2 \times d$  permet de séparer les étoiles doubles serrées, par exemple. La limite à ne pas dépasser en pratique se situe à  $2,5 \times d$ .
- Le prix de l'oculaire varie énormément suivant sa qualité optique. On passe de la gamme initiation à celles des observateurs de plus en plus exigeants.

*Remarque : ce texte a été rédigé en collaboration avec Roger Marical, Observatoire de Rouen.*

### **À propos du VLT (information à l'intention des professeurs)**

- Le VLT, conçu par l'Europe, est un ensemble de quatre télescopes de huit mètres de diamètre. Détail amusant, leurs miroirs ont été baptisés Joe, Jack, William et Averell (comme les frères Dalton) ! Ils ont été coulés en Allemagne dans un moule tournant, afin de leur donner une forme concave sous l'effet de la force centrifuge. Après plusieurs mois de refroidissement, ils ont été envoyés à la société REOSC, en région parisienne, pour le polissage. Le premier des quatre télescopes a donné ses premières images en 1998. La spécificité du VLT, c'est

qu'il peut également fonctionner par interférométrie : les images fournies par chacun des télescopes sont combinées, afin de résoudre des détails extrêmement petits ; opérationnel depuis 2002, l'interféromètre permet par exemple de mesurer le diamètre des étoiles avec une incertitude réduite à 1 %.

# FICHE ÉLÈVE

## Questions sur le film

1. Quelles sont les caractéristiques des miroirs de verre destinés au VLT dans le désert d'Atacama au Chili ?

- Diamètre : .....
- Épaisseur : .....
- Masse : .....

2. Pourquoi les télescopes doivent-ils avoir un grand diamètre d'ouverture ?

.....

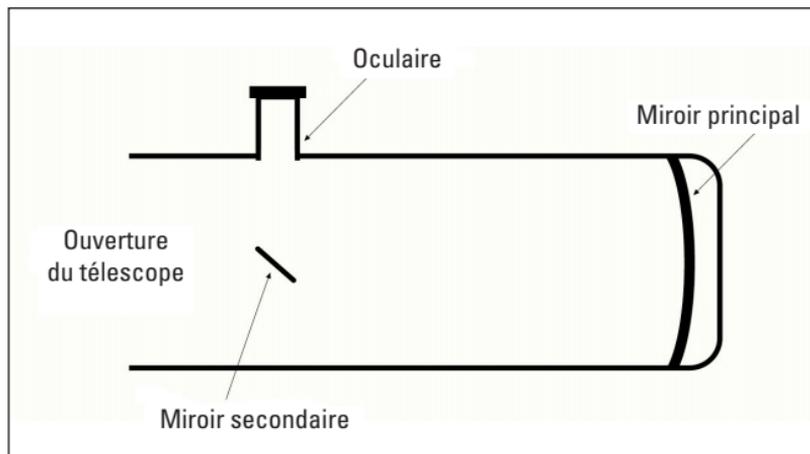
.....

.....

.....

.....

3. Décris le trajet de la lumière à partir de ce schéma de télescope :



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



## **Vocabulaire : relie chaque mot à sa propriété**

Luminosité •  
Pupille •  
Oculaire •  
Étoile •  
Foyer •

- Astre qui, observé même avec les plus puissants télescopes du monde, paraît toujours petit comme un point.
- C'est là que le miroir principal du télescope concentre toute la lumière reçue.
- Plus l'ouverture du télescope est grande, plus elle est grande.
- Partie du télescope où l'observateur place son œil.
- Celle de l'homme mesure au maximum 5 à 6 mm de diamètre.